



ИЗВЈЕШТАЈ

о оцјени подобности теме, кандидата и ментора за израду докторске дисертације

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

Орган који је именовано комисију: Наставно-научно вијеће Електротехничког факултета у Бањој Луци

Датум именовања комисије: 14.09.2017. године

Број одлуке: 20/3.921-954/17

Састав комисије:

1.	Мирјана Симић-Пејовић	ванредни професор	Електротехника и рачунарство, Телекомуникације
	Презиме и име	Звање	Научно поље и ужа научна област
	Електротехнички факултет Београд		предсједник
	Установа у којој је запослен-а		Функција у комисији
2.	Гордана Гардашевић	ванредни професор	Електротехника, електроника и информационо инжењерство, Телекомуникације
	Презиме и име	Звање	Научно поље и ужа научна област
	Електротехнички факултет Универзитета у Бањој Луци		ментор
	Установа у којој је запослен-а		Функција у комисији
3.	Славко Шајић	доцент	Електротехника, електроника и информационо инжењерство, Телекомуникације
	Презиме и име	Звање	Научно поље и ужа научна област
	Електротехнички факултет Универзитета у Бањој Луци		члан
	Установа у којој је запослен-а		Функција у комисији

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме: Драган (Ђорђо) Васиљевић
2. Датум рођења: 14.10.1975. Мјесто и држава рођења: Добој, Босна и Херцеговина

II.1 Основне студије

Година уписа: Година завршетка: Просјечна оцјена током студија:

Универзитет: Универзитет у Бањој Луци

Факултет/и: Електротехнички факултет

Студијски програм: Електроника и телекомуникације

Звање: дипломирани инжењер електротехнике

II.2 Мастер или магистарске студије

Година уписа: Година завршетка: Просјечна оцјена током студија:

Универзитет: Универзитет у Бањој Луци

Факултет/и: Електротехнички факултет

Студијски програм: Електроника и телекомуникације

Звање: магистар електронике и телекомуникација

Научна област: Телекомуникације

Наслов завршног рада: Анализа перформанси OpenMote хардверске платформе у IoT примјенама

II.3 Докторске студије

Година уписа:

Факултет/и: _____

Студијски програм: _____

Број ЕЦТС до сада остварених: Просјечна оцјена током студија:

II.4 Приказ научних и стручних радова кандидата

Р. бр.	Аутори, наслов, издавач, број страница	Категорија
1.	G. Gardašević, M. Veletić, N. Maletić, D. Vasiljević , I. Radusinović, S. Tomović and M. Radonjić, "The IoT Architectural Framework, Design Issues and Application Domains", Wireless Personal Communication, Volume 91, No. 2, November 2016, doi: 10.1007/s11277-016-3842-3	водећи часопис међународног значаја
<p><i>Кратак опис садржине:</i> The challenge raised by the introduction of Internet of Things (IoT) concept will permanently shape the networking and communications landscape and will therefore have a significant social impact. The ongoing IoT research activities are directed towards the definition and design of open architectures and standards, but there are still many issues requiring a global consensus before the final deployment. The paper presents and discusses the IoT architectural frameworks proposed under the ongoing standardization efforts, design issues in terms of IoT hardware and software components, as well as the IoT application domain representatives, such as smart cities, healthcare, agriculture, and nanoscale applications (addressed within the concept of Internet of Nano-Things). In order to obtain the performances related to recently proposed protocols for emerging Industrial Internet of Things applications, the preliminary results for Message Queuing Telemetry Transport and Time-Slotted Channel Hopping protocols are provided. The testing was performed on OpenMote hardware platform and two IoT operating systems: Contiki and OpenWSN.</p>		
<p><i>Рад припада проблематици докторске дисертације:</i> <input checked="" type="checkbox"/> ДА НЕ <input type="checkbox"/> ДЈЕЛИМИЧНО</p>		

Р. бр.	Аутори, наслов, издавач, број страница	Категорија ¹
2.	G. Gardašević, D. Vasiljević , C. Buratti, R. Verdone, "Experimental Characterization of Joint Scheduling and Routing Algorithm over 6TiSCH", Workshop on Dependable Wireless Communications and Localization for the IoT, Graz, Austria, Sep. 12, 2017.	зборник радова са научног скупа међународног значаја
<p><i>Кратак опис садржине:</i> Recently, the Time-Slotted Channel Hopping (TSCH) mode was introduced as an amendment to the Medium Access Control (MAC) part of the IEEE 802.15.4 standard. TSCH is the emerging standard for industrial automation and process control for Low-power and Lossy Networks (LLNs) that uses time synchronization to achieve low-power operation and channel hopping to enable high reliability. Particularly, the 6TiSCH (IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e) mechanisms are crucial for the further adoption of IPv6 in industrial standards. This paper presents results related to the integration of Joint Scheduling and Routing Algorithms (JSRA) with OpenWSN 6TiSCH protocol stack, where the performances in terms of PDR and throughput are evaluated. For experimentations, we have used the OpenMote hardware and OpenWSN software platform for IoT applications.</p>		
<p><i>Рад припада проблематици докторске дисертације:</i> <input checked="" type="checkbox"/> ДА НЕ <input type="checkbox"/> ДЈЕЛИМИЧНО</p>		

¹ Категорија се односи на оне часописе и научне скупове који су категорисани у складу са Правилником о публикавању научних публикација („Службени гласник РС“, бр. 77/10) и Правилником о мјерилима за остваривање и финансирање Програма одржавања научних скупова („Службени гласник РС“, бр. 102/14).

Р. бр.	Аутори, наслов, издавач, број страница	Категорија
3.	D. Vasiljević , G. Gardašević, "Performance Evaluation of OpenWSN Operating System on OpenMote Platform for Industrial IoT Applications", International Symposium on Industrial Electronics (INDEL), Banjaluka, Bosnia and Herzegovina, Nov. 2016, doi: 10.1109/INDEL.2016.7797791.	зборник радова са научног скупа међународног значаја
<i>Кратак опис садржине:</i> Wireless Sensor Networks (WSNs) represent one of the key technologies in Industrial Internet of Things (IIoT) applications. Recently, the OpenMote platform has drawn significant attention to IIoT research community. The OpenMote is a representative of new generation open-hardware platforms that is particularly adapted to IIoT applications. The OpenWSN is IoT operating system (OS) that incorporates the complete communication protocol stack for industrial WSN. This paper presents the OpenWSN protocol stack and results of performance evaluation of entire OpenWSN implementation on OpenMote hardware platform. Performance evaluation is based on traffic generation and measurement of relevant metrics. The selected metrics are: round-trip time, packet loss rate and throughput.		
<i>Рад припада проблематици докторске дисертације:</i> <input checked="" type="checkbox"/> ДА НЕ <input type="checkbox"/> ДЈЕЛИМИЧНО		

Р. бр.	Аутори, наслов, издавач, број страница	Категорија
4.	G. Đukanović, D. Vasiljević , "IoT i pametne senzorske mreže budućnosti: mogućnosti i izazovi", u Zborniku radova sa konferencije ITeO, str. 13 - 27, Banja Luka, septembar 2014.	зборник радова са научног скупа националног значаја
<i>Кратак опис садржине:</i> У раду су представљене могућности и анализирани изазови које пред човјека постављају нове IoT мреже. Представљена је основна инфраструктура, као и потенцијал који носе ове мреже за повећање квалитета живота у будућем периоду. Представљени су и изазови који се појављују у IoT, те могући утицај тих изазова на ширење ових мрежа и на прихваћеност од стране корисника.		
<i>Рад припада проблематици докторске дисертације:</i> ДА НЕ <input checked="" type="checkbox"/> ДЈЕЛИМИЧНО		

Р. бр.	Аутори, наслов, издавач, број страница	Категорија
5.	G. Đukanović, D. Vasiljević , "Uticaj Android operativnog sistema na širenje informaciono komunikacionih tehnologija", u Zborniku radova sa konferencije ITeO, str. 46 - 57, Banja Luka, septembar 2013.	зборник радова са научног скупа националног значаја
<i>Кратак опис садржине:</i> У раду је дат преглед развоја Андроид оперативног система, те приказ ширења информационо комуникационих технологија кроз експлозиван раст мобилног рачунарства. Дат је преглед софтверске архитектуре, корисничког интерфејса и кључних карактеристика Андроид оперативног система. Урађена је анализа утицаја сигурности код Андроида на његову популарност и његово ширење као доминантног оперативног система у области мобилног рачунарства, са посебним освртом на Андроид дозволе и њихов утицај на ширење у сигурносно критичним областима као што су e-learning, бизнис и m-payment.		
<i>Рад припада проблематици докторске дисертације:</i> ДА <input checked="" type="checkbox"/> НЕ <input type="checkbox"/> ДЈЕЛИМИЧНО		

Р. бр.	Аутори, наслов, издавач, број страница	Категорија
6.	D. Vasiljević , "Апликација за размјену multimedijalnih poruka за Android platformu", у Zborniku radova са конференције ETRAN, стр. 67 - 70, Palić, јун 2008.	зборник радова са научног скупа међународног значаја
<i>Кратак опис садржине:</i> У овом раду описана је реализација апликације за размјену мултимедијалних порука. Апликација је реализована за Андроид софтверску платформу за мобилне телефоне. На почетку је дат опис Андроид платформе, тј. основних градивних блокова од којих се састоји ова платформа и који се користе за реализацију Андроид апликација. У наставку је описана реализација апликације, основне компоненте од којих се она састоји и функционалности које оне пружају као и механизми интеракције између појединих компоненти.		
<i>Рад припада проблематици докторске дисертације:</i> ДА <input checked="" type="checkbox"/> НЕ ДЈЕЛИМИЧНО		

Р. бр.	Аутори, наслов, издавач, број страница	Категорија
7.	D. Vasiljević, G. Đukanović, D. Mišić, V. Knežević , "SMS spam i metode njegovog otkrivanja i sprečavanja", у Zborniku radova са конференције ETRAN, стр. 77 - 81, Herceg Novi, јун 2007.	зборник радова са научног скупа међународног значаја
<i>Кратак опис садржине:</i> У овом раду описан је SMS спам, проблем који је све више присутан у мобилним комуникацијама. Описани су различити типови SMS спама, њихове карактеристике, сценарији њиховог извођења, као и проблеми које проузрокују мобилним операторима и њиховим корисницима. Дате су методе откривања појединих типова SMS спама, те предложене могуће мјере заштите које се могу примијенити у циљу спречавања SMS спама.		
<i>Рад припада проблематици докторске дисертације:</i> ДА <input checked="" type="checkbox"/> НЕ ДЈЕЛИМИЧНО		

Да ли кандидат испуњава услове?

ДА

НЕ

III ПОДАЦИ О МЕНТОРУ/КОМЕНТОРА

Др Гордана Гардашевић, рођена 7.11.1970. год. у Бањој Луци, је ванредни професор на Електротехничком факултету Универзитета у Бањој Луци. Дипломирала је, магистрирала и докторирала на истом факултету, 1995., 2001. и 2008. год., респективно, у области телекомуникација. Истраживачке активности у току израде докторске тезе реализовала је на Националном техничком универзитету у Атини, Грчка, као стипендиста грчке владе (2007-2008.). Постдокторске студије (2013-2014.) завршила је на Универзитету у Болоњи, Италија. Изабрана је у звање доцента (2009.) и звање ванредног професора (2015.) на студијском програму Електроника и телекомуникације, за предмете на првом, другом и трећем циклусу студија (Телекомуникациони системи, Телекомуникационе мреже, Мултимедијалне телекомуникације, Радио-приступне технологије, Бежичне сензорске мреже, Internet of Things технологије и апликације). Учествовала је у реализацији већег броја домаћих и међународних пројеката. Била је именована је од стране Министарства науке и технологије као представник у FP6 пројекту Европске уније за Босну и Херцеговину и члан владине групе за информационе технологије. Тренутно обавља функцију шефа Катедре за телекомуникације на Електротехничком факултету у Бањој Луци, као и функцију продекана за научно-истраживачки рад. Истраживачке активности обухватају област мобилних и бежичних телекомуникационих мрежа (архитектуре мрежа нове генерације, протоколи, квалитет услуга), сензорске мреже, Internet of Things протоколе и апликације. Аутор је два основна уџбеника, једне монографије, једног поглавља у међународној научној публикацији, те више од 60 научних и стручних радова из области истраживања. Члан је IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers), WSEAS (World Scientific and Engineering Academy and Society) и EURACON (European Association for Communications & Networking) удружења.

Радови из области којој припада приједлог докторске дисертације:

Р. бр.	Аутори, наслов, издавач, број страница
1.	C. Buratti, A. Stajkic, G. Gardasevic , et. al, "Testing Protocols for the Internet of Things on the EuWIn Platform," in <i>IEEE Internet of Things Journal</i> , vol. 3, no. 1, pp. 124-133, Feb. 2016., doi: 10.1109/IJOT.2015.2462030, Impact Factor=7.6
2.	Gardašević, G. , Veletić, M., Maletić, N. et al., The IoT Architectural Framework, Design Issues and Application Domains, <i>WIRELESS PERSONAL COMMUNICATIONS</i> , January 2017, Volume 92, Issue 1, pp 127–148, ISSN:1572-834X, doi: 10.1007/s11277-016-3842-3Wireless Pers Commun (2017) 92: 127. doi:10.1007/s11277-016-3842-3, SCI
3.	G. Gardašević , D. Vasiljević, C. Buratti, R. Verdone, Experimental Characterization of Joint Scheduling and Routing Algorithm over 6TiSCH, <i>Workshop on Dependable Wireless Communications and Localization for the IoT</i> , Graz, Austria, Sept. 12, 2017
4.	G. Gardasevic , H. Fotouhi, I.Tomasic, M. Vahabi, M. Björkman, M. Lindén, A Heterogeneous IoT-based Architecture for Remote Monitoring of Physiological and Environmental Parameters, <i>4th EAI International Conference on IoT Technologies for HealthCare</i> , Angers, France, Oct. 24-25, 2017
5.	D. Vasiljević, G. Gardašević , Performance evaluation of OpenWSN operating system on Openmote platform for industrial IoT applications, <i>International Symposium on Industrial Electronics (INDEL)</i> , Banja Luka, 2016, pp. 1-6, doi:10.1109/INDEL.2016.7797791
6.	G. Gardasevic , S. Mijovic, A. Stajkic, C. Buratti, On the Performance of 6LoWPAN Through Experimentation, <i>Proc. of the 11th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC 2015)</i> , Dubrovnik, Croatia, Aug, 2015, pp.696-701, doi: 10.1109/IWCMC.2015.7289168

Да ли ментор испуњава услове?

ДА

НЕ

IV ОЦЈЕНА ПОДОБНОСТИ ТЕМЕ

IV.1 Формулација назива тезе (наслова)

Алгоритам здруженог формирања комуникационог распореда и рутирања у IoT мрежама заснованим на 6TiSCH протоколу

Наслов тезе је подобан?

ДА

НЕ

IV.2 Предмет истраживања

Интернет предмета (енг. Internet of Things - IoT) представља мрежу паметних објеката, тј. физичких објеката који у себи имају уграђене разноврсне електронске компоненте: сензоре, актуаторе, комуникационе модуле, микропроцесоре са одговарајућим софтвером, итд. Такви објекти могу пратити различите параметре у свом окружењу и аутономно реаговати на њихову промјену, остваривати комуникацију са другим објектима у оквиру IoT окружења или са различитим рачунарским системима, сервисима и апликацијама које се налазе на Интернету. Значајну примјену у реализацији IoT умрежавања имају бежичне сензорске мреже (енг. Wireless Sensor Networks - WSN).

За WSN је већ дефинисан значајан број комуникационих протокола различитих слојева, од којих су многи стандардизовани. Најзначајнији стандардизовани протоколи су 6LoWPAN (енг. IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks), ZigBee, IEEE 802.15.4, BLE (енг. Bluetooth Low Energy), RPL (енг. Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks), CoAP (енг. Constrained Application Protocol) итд. IEEE 802.15.4 - 2006 је један од водећих стандарда у области IoT. Овај стандард дефинише физички и MAC (енг. Medium Access Control) слој. IEEE 802.15.4e TSCH (енг. Time - Slotted Channel Hopping) стандард представља проширење IEEE 802.15.4 - 2006 стандарда за MAC слој. Кључне предности које доноси IEEE 802.15.4e TSCH су комуникација у временским слотовима и увођење фреквенцијског скакања. Примјена технике фреквенцијског скакања представља новину у области WSN. Од ове технике се очекује да омогући високу поузданост комуникације и отпорност на интерференцију и вишепутни (енг. multipath) фединг у WSN мрежама, због чега је привукла је велику пажњу научно-истраживачке заједнице.

Међутим, и поред великог интересовања, практична истраживања у области примјене IEEE 802.15.4e TSCH стандарда су још увијек на самом почетку. Највећи број истраживања је усмјерен на алгоритме формирања комуникационог распореда (енг. Scheduling Algorithm) између сусједних чворова у WSN мрежи. Наиме, IEEE 802.15.4e TSCH је фокусиран искључиво на MAC слој, односно спецификацију структура података и различитих механизма на овом слоју, као што су нпр. начин остваривања синхронизације чворова у мрежи и фреквенцијско скакање. Стандардом нису дефинисани начини коришћења ових механизма, тј. начин на који се одређују временски слотови и фреквенције за ефикасан пренос података преко више хопова у мрежи. Да би комуникација између два чвора била успјешна, потребно је да оба чвора користе исти временски слот и исту фреквенцију, тј. потребно је да се успостави својеврсни логички линк између та два чвора. IEEE802.15.4e TSCH не специфицира на који начин се успостављају ови логички линкови. Са друге стране, протоколи на мрежном слоју, као што је 6LoWPAN, претпостављају да постоје успостављени логички линкови. Дакле, недостаје функционални ентитет, односно слој у протокол-стеку који треба да повеже IEEE802.15.4e TSCH са вишим протоколима у протокол стеку. Овај слој се може посматрати као слој контроле логичког линка (енг. Logical Link Control - LLC) и има кључну улогу у перформансама цјелокупне мреже. На овом слоју још увијек нема

стандардизованих протокола. Стога, LLC слој у WSN мрежама заснованим на IEEE802.15.4e TSCH протоколу представља актуелну област истраживања.

Комуникационим распоредом, тј. формирањем логичких линкова се реализује и топологија мреже на LLC слоју. Топологија рутирања је условљена топологијом на LLC слоју, јер се као посреднички чвор преко којег се рутира собраћај може изабрати само онај чвор према којем је успостављен логички линк. Са друге стране, проналажење оптималне руте у мрежи за одређене врсте саобраћаја захтијева да се успостављање логичких линкова врши на основу захтјева протокола рутирања. Дакле, постоји међусобна зависност, тј. условљеност између LLC слоја и слоја рутирања.

Предмет истраживања у овој тези је управо анализа проблема успостављања логичког линка, тј. формирања комуникационог распореда, на LLC слоју у IEEE802.15.4e TSCH WSN мрежама и предлагање рјешења које може обезбиједити жељени ниво перформанси WSN мрежа у погледу поузданости, тј. пакетских губитака, кашњења, протока и потрошње, при чему се узима у обзир међусобна зависност између формирања комуникационог распореда и алгоритма рутирања.

Предмет истраживања је подобан?

ДА

НЕ

IV.3 Најновија истраживања познавања предмета дисертације на основу изабране литературе са списком литературе

У оквиру IETF (енг. Internet Engineering Task Force) формирана је 6TiSCH (енг. IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e) радна група [1]. Ова радна група се бави дефинисањем стандардизационих оквира за IPv6 (енг. Internet Protocol version 6) комуникацију преко IEEE802.15.4e TSCH протокола. Основни задатак је стандардизација функционалног ентитета који је одговоран за успостављање логичких линкова, тј. спецификација тзв. бтор подслоја. Овај подслој, између осталог, треба да дефинише протокол који омогућава да сусједни чворови у мрежи „договоре“ додавање или уклањање логичких линкова и подразумеивану бтор функцију креирања комуникационог распореда (енг. Scheduling Function) [2]. Процес стандардизације бтор подслоја је још увијек у току. До сада је 6TiSCH радна група објавила интернет драфт стандарда под називом Minimal 6TiSCH Configuration. Ова спецификација дефинише оперативне параметре и процедуре за минимални режим рада који је довољан да се формира 6TiSCH мрежа [3]. На основу IEEE802.15.4e TSCH стандарда, временски слотови могу бити дијељени између свих чворова у мрежи или могу бити додијељени, тј. гарантовани само одређеним чворовима. Minimal 6TiSCH Configuration користи дијељене временске слотове. Међутим, то може узроковати појаву колизија у мрежи. Комуникациони распоред је статички, тј. унапријед предефинисан на сваком чвору у мрежи или дистрибуиран од стране координатора мреже приликом формирања мреже и не мијења се током цјелокупног животног вијека мреже. С обзиром на то да WSN имају врло широк спектар примјена и имајући у виду претходно поменута ограничења, Minimal 6TiSCH Configuration у већини случајева не може обезбиједити одговарајуће перформансе.

Рад [4] се бави анализом интеракције између IEEE 802.15.4 MAC слоја и RPL слоја рутирања у LLN (енг. Low-Power and Lossy Networks), те њеним утицајем на рутирање и опште перформансе мреже. Међусобна условљеност између LLC слоја и слоја рутирања упућује на закључак да се рутирање и формирање логичких линкова не могу посматрати независно једно од другог уколико се желе постићи високе перформансе мреже.

У односу на мјесто имплементације, алгоритми формирања комуникационог распореда могу бити централизовани или децентрализовани (дистрибуирани). Централизовани алгоритми су имплементирани на једном мјесту у мрежи на којем се обављају сви прорачуни, а затим се информације о логичким линковима које треба успоставити

дистрибуирају до сваког чвора у мрежи. У радовима [5,6,7] су дати приједлози различитих централизованих алгоритама. У [5] је предложен тзв. TASA (енг. Traffic Aware Scheduling Algorithm) алгоритам у којем се комуникациони распоред формира на основу информација које долазе од протокола рутирања и на основу карактеристика саобраћаја, нпр. просјечна количина саобраћаја коју генерише сваки чвор у мрежи. Међутим, овај алгоритам генерише и велику количину сигналног саобраћаја у мрежи, што негативно утиче на перформансе цјелокупне мреже јер су WSN мреже релативно малог протока. Дистрибуција информација о успостављању логичких линкова према свим чворовима у мрежи је основни недостатак свих централизованих алгоритама. Са друге стране, предност им је што на једном мјесту постоји преглед стања цјелокупне мреже због чега се може ефикасније формирати комуникациони распоред и топологија рутирања. У [6] је приказана теоријска анализа максимизације протока у IEEE802.15.4e TSCH мрежама која је највећим дијелом базирана на теорији графова. Предложен је и одговарајући алгоритам формирања комуникационог распореда. У [7] је предложен тзв. JRSA (енг. Joint Routing and Scheduling Algorithm) алгоритам. Овај алгоритам формира топологију рутирања и успоставља логичке линкове у итерацијама, водећи рачуна о међусобној интерференцији између већ додијелиених линкова и новог линка, чиме се минимизују пакетски губици. Процјена интерференције се изводи на основу матрице снаге пријемног сигнала која мора бити позната, тј. измјерена унапријед. Недостатак овог метода је што подразумијева да су услови средине, тј. измјерена матрица снаге, константни током времена, што није случај у реалним условима примјене WSN мрежа.

У радовима [8,9,10,11] су дати приједлози различитих децентрализованих алгоритама. У раду [8] је извршена анализа могућности примјене DeTAS (енг. Decentralised Traffic Aware Scheduling) алгоритма распоређивања временских слотова [12] у IEEE 802.15.4e TSCH мрежи. DeTAS алгоритам је дизајниран за формирање комуникационог распореда без колизија у детерминистичким мулти-хоп LLN мрежама. Коришћењем мале количине информација, које се локално размјењују између сусједних чворова у мрежи, DeTAS омогућава рачунање распоређивања временских слотова на дистрибуиран начин. У раду [9] је предложен алгоритам формирања комуникационог распореда који се фокусира на повећање поузданости преноса података у IEEE 802.15.4e TSCH мрежама. Овај алгоритам се односи на сценарио прикупљања сензорских података, тј. пренос од чворова према координатору мреже и за саобраћај који је непредвидив и великог протока. Повећање поузданости преноса података се остварује коришћењем комбинације дијелиених и гарантованих временских слотова. У раду [10] је презентован дистрибуирани алгоритам формирања комуникационог распореда који смањује кашњење „с краја на крај“ груписањем чворова на основу времена додијелиеног за пренос података, у зависности од њихове удаљености од координатора мреже. Овај алгоритам гарантује да ће пакет од чвора до координатора бити пренесен током трајања једног слотфрејма. У раду [11] је презентован OTF (енг. On-The-Fly) модул за резервацију ресурса у 6TiSCH мрежама, заснован на 6top подслоју и IEEE 802.15.4e TSCH. OTF је дистрибуирани алгоритам формирања комуникационог распореда који прати 6top статистику и динамички додаје или брише временске слотове између чворова у мрежи. Код децентрализованих алгоритама формирања комуникационог распореда, алгоритам се извршава на сваком чвору у мрежи. Будући да појединачни чворови немају преглед цјелокупне мреже, ови алгоритми су мање ефикасни у односу на централизоване алгоритме приликом израчунавања комуникационог распореда и топологије рутирања. Међутим, ови алгоритми генеришу и знатно мање сигналног саобраћаја, који се углавном размјењује локално између два сусједна чвора, те не оптерећују укупан саобраћај у мрежи што представља значајну предност ових алгоритама.

Списак литературе:

- [1] “IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4e (6tisch)”, IETF 6TiSCH Working Group, <https://datatracker.ietf.org/wg/6tisch/charter/> , posjećeno: 24.08.2016. godine.
- [2] T. Watteyne, M. Palattella, L. Grieco, “Using IEEE802.15.4e TSCH in an IoT context: Overview, Problem Statement and Goals”, IETF Internet-Draft, March 2015.
- [3] X. Vilajosana, K. Pister, “Minimal 6TiSCH Configuration”, IETF Internet-Draft, February 2016.
- [4] O. Iova, F. Theoleyre, T. Watteyne and T. Noel, “The Love-Hate Relationship between IEEE 802.15.4 and RPL”, IEEE Communications Magazine, Vol. 55, Issue 1, January 2017, pp. 188 - 194, doi: 10.1109/MCOM.2016.1300687RP
- [5] M. R. Palattella, N. Accettura, M. Dohler, L. A. Grieco and G. Boggia, “Traffic Aware Scheduling Algorithm for reliable low power multi-hop IEEE 802.15.4e networks”, in IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communications - (PIMRC), Sept. 2012, pp. 327-332. doi: 10.1109/PIMRC.2012.6362805
- [6] M. Ojo, S. Giordano, “An efficient centralized scheduling algorithm in IEEE 802.15.4e TSCH networks”, in IEEE Standards for Communications and Networking (CSCN), Nov. 2016, doi: 10.1109/CSCN.2016.7785164
- [7] C. Buratti, R. Verdone, “Joint Routing and Scheduling for centralised wireless sensor networks”, in IEEE Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI), Sept. 2016, doi: 10.1109/RTSI.2016.7740561
- [8] N. Accettura, E. Vogli, M. R. Palattella, L. A. Grieco, G. Boggia, and M. Dohler, “Decentralized Traffic Aware Scheduling in 6TiSCH Networks: Design and Experimental Evaluation”, IEEE Internet of Things Journal, Vol. 2, Issue 6, December 2015, pp. 455-470. doi: 10.1109/JIOT.2015.2476915
- [9] A. Elsts, X. Fafoutis, J. Pope, G. Oikonomou, R. Piechocki and I. Craddock, “Scheduling High Rate Unpredictable Traffic in IEEE 802.15.4 TSCH Networks”, in Proceedings of the 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), IEEE, Ottawa, Canada, June 2017.
- [10] I. Hosni, F. Théoleyre, and N. Hamdi, “Localized scheduling for end-to-end delay constrained Low Power Lossy networks with 6TiSCH”, in IEEE Computers and Communication (ISCC), June 2016, doi: 10.1109/ISCC.2016.7543789.
- [11] M. R. Palattella, T. Watteyne, Q. Wang, K. Muraoka, N. Accettura, D. Dujovne, L. A. Grieco, and T. Engel, “On-the-Fly Bandwidth Reservation for 6TiSCH Wireless Industrial Networks”, IEEE Sensors Journal, Volume: 16, Issue: 2, Jan. 2016, pp. 550 – 560, doi: 10.1109/JSEN.2015.2480886.
- [12] N. Accettura, M. R. Palattella, G. Boggia, L. A. Grieco and M. Dohler, “Decentralized traffic aware scheduling for multi-hop low power lossy networks in the internet of things”, in Proc. of IEEE Int. Symp. on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, WoWMoM, Madrid, Spain, Jun 2013.

Избор литературе је одговарајући?

ДА

НЕ

IV.4 Циљеви истраживања

Актуелна истраживања у овој области се углавном фокусирају на специфичне случајеве, када су у питању карактеристике саобраћаја или врсте примјене, као и оптимизација параметара који утичу на перформансе мреже. Ово смањује могућности њихове практичне употребе у реалним условима, у којима једна мрежа најчешће опслужује различите врсте саобраћаја са различитим карактеристикама и захтјевима у погледу протока, кашњења, пакетских губитака и потрошње. Постоји потреба за алгоритмом формирања

комуникационог распореда и топологије рутирања који може обухватити широк спектар примјена и који се може прилагодити различитим врстама саобраћаја, са одређеним карактеристикама и захтјевима у погледу перформанси преноса. Планирано истраживање има за циљ да анализира могућности и предложи начин реализације једног таквог алгоритма. Циљ је да алгоритам не буде комплексан, да генерише што мање додатног саобраћаја у мрежи, да се може практично имплементирати и експериментално провјерити, те да се заснива на већ развијеним протоколима и процедурама како би био у складу са актуелним процесима стандардизације у овој области.

Циљеви истраживања су одговарајући?

ДА

НЕ

IV.5 Хипотезе истраживања: главна и помоћне хипотезе

У зависности од примјене, од IoT WSN мрежа се очекује да омогуће подршку за пренос различитих саобраћајних токова, од којих сваки има одговарајуће захтјеве у погледу мрежних параметара. Истраживања су показала да кључни утицај на перформансе мреже има начин на који се успостављају логички линкови, тј. формира комуникациони распоред на LLC слоју, као и да постоји међусобна зависност између протокола рутирања и успостављања логичких линкова.

Основна радна хипотеза предвиђених истраживања полази од тога да је могуће дефинисати алгоритам који здружено формира комуникациони распоред и топологију рутирања, при чему би се вршила диференцијација различитих врста саобраћаја и свакој од њих обезбјеђивале тражене перформансе. Сваки чвор би приликом придруживања мрежи и током рада мреже могао да декларише коју врсту саобраћаја генерише, тј. какве перформансе захтијева. На основу те декларације алгоритам би израчунао потребе чвора за ресурсима. Обједињавањем процеса формирања комуникационог распореда и топологије рутирања у јединствен алгоритам уважио би се међусобни утицај између два слоја у протокол-стеку и тиме омогућило побољшање перформанси преноса података кроз мрежу. Овакав алгоритам би био примјењив на случај када се као протокол рутирања користи RPL, а на MAC слоју IEEE 802.15.4e TSCH протокол.

Алгоритам би био децентрализован, јер се тиме смањује количина сигналног саобраћаја у мрежи. За размјену информација потребних да се формира комуникациони распоред између два сусједна чвора у мрежи користиће се бтор протокол који се још увијек развија у оквиру 6TiSCH радне групе. За дистрибуцију тих информација према чворовима који нису сусједни користиће се RPL DAO (енг. Destination Advertisement Object) и DIO (енг. DODAG Information Object) пакети. За пренос ових информација у структури DAO пакета постоје опциона поља чије је постојање предвиђено RPL протоколом. Структура ових опционих поља би била дефинисана у оквиру планираних истраживања. Оваквом размјеном информација би се омогућила реализација функције резервације ресурса, тј. гарантованих или дијелених временских слотова, чиме се омогућава постизање жељених перформанси, тј. гаранција квалитета за одређени тип саобраћаја.

Обезбјеђивање захтијеваних перформанси за сваки тип саобраћаја заснивало би се на коришћењу вишеструких рута кроз мрежу. Сваки чвор би имао више родитељских чворова преко којих може слати и примати податке, чиме се формирају вишеструке руте кроз мрежу. Алгоритам би рачунао руте примјеном сложених метрика које би узимале у обзир удаљеност неког чвора од координатора, на основу RPL ETX (енг. Expected Transmission Count) метрике и расположивих ресурса, тј. комуникационог распореда на сваком хопу дуж руте. Формирањем вишеструких рута се обезбјеђује и адекватна подршка различитим врстама саобраћаја.

Хипотезе истраживања су јасно дефинисане?

ДА

НЕ

IV.6 Очекивани резултати hipoteze

Најважнији очекивани резултат је дизајн и практична имплементација алгоритма формирања комуникационог распореда и топологије рутирања у оквиру IoT мрежа базираних на 6TiSCH протоколу. Такав алгоритам ће бити примјењив у IoT WSN мрежама заснованим на IPv6 комуникацији, које на физичком и MAC слоју користе IEEE 802.15.4e TSCH протокол и RPL као протокол рутирања. Алгоритам би требао омогућити широк спектар IoT примјена, нарочито у индустрији, јер би обезбиједио одговарајуће детерминистичке перформансе за различите врсте апликација и саобраћајних токова. Алгоритам би се заснивао на концепту здруженог формирања комуникационог распореда и топологије рутирања, чиме се уважава међусобни утицај између два слоја у протокол-стеку и омогућава побољшање перформанси су преноса података кроз мрежу. Формирањем вишеструких рута од појединог чвора до координатора мреже би се остварило прилагођавање услова преноса по појединим рутама захтјевима појединачних врста саобраћаја. Руте у мрежи би се формирале на основу сложених метрика за RPL протокол које би биле дефинисане у оквиру алгоритма. За пренос информација о комуникационим распореду би била дефинисана проширења у постојећим структурама података RPL DAO и DIO пакета. Алгоритам би омогућавао чворовима у мрежи да могу декларисати захтјеве за одређену врсту саобраћаја и да се на основу тих захтјева резервишу одговарајући ресурси дуж руте према координатору мреже.

Очекивани резултати представљају значајан научни допринос? ДА НЕ

IV.7 План рада и временска динамика

Фазе израде докторске дисертације су:

- Анализа постојећег стања у области формирања комуникационог распореда и топологије рутирања у IoT WSN мрежама заснованим на IEEE 802.15.4e TSCH протоколу,
- Развој математичких модела којима се описују карактеристике IoT WSN мрежа заснованих на IEEE 802.15.4e TSCH протоколу и преноса података у таквим мрежама,
- Дефинисање сложених метрика за формирање вишеструких рута у мрежи,
- Развој алгоритма формирања комуникационог распореда и топологије рутирања,
- Имплементација развијеног алгоритма у оквиру OpenWSN протокол-стека,
- Утврђивање перформанси развијеног алгоритма путем симулација и тестирања у реалном окружењу,
- Потврђивање радне хипотезе кроз анализу добијених резултата и формирање закључака.

План рада и временска динамика су одговарајући? ДА НЕ

IV.8 Метод и узорак истраживања

За реализацију планираног истраживања ће се, између осталог, користити постојећи научни радови у овој области, релевантни стандарди од којих су најзначајнији RPL и IEEE 802.15.4e TSCH, истраживања реализована од стране 6TiSCH радне групе и OpenWSN протокол-стек, те припадајући програмски код у којем је развијен.

Основне научне методе истраживања које ће се примјењивати су:

- Прикупљање, анализа и систематизација доступне литературе из ове области,
- Развој алгоритма формирања комуникационог распореда и топологије рутирања, сложених метрика за формирање вишеструких рута и анализа перформанси развијеног

алгоритма,

- Коришћење одговарајућег математичког апарата, заснованог највећим дијелом на теорији графова, теорији редова за чекање, моделовању и процјени карактеристика мреже, развоју алгоритма и анализи резултата,
- Писање програмског кода за имплементацију развијеног алгоритма у оквиру OpenWSN протокол-стека,
- Генерисање саобраћаја, симулације и тестирања у реалном окружењу,
- Анализа и верификација резултата.

Метод и узорак су одговарајући?

ДА

НЕ

IV.9 Мјесто, лабораторија и опрема за експериментални рад

У оквиру планираних истраживања је предвиђена имплементација и верификација развијеног алгоритма коришћењем OpenWSN протокол-стека у симулационом режиму и у реалној мрежи базираној на OpenMote платформи. За реализацију симулационог режима користиће се Open Visualizer софтверски пакет развијен у оквиру OpenWSN пројекта и инсталиран на Ubuntu linux серверу. За реализацију реалне WSN мреже биће имплементирано лабораторијско окружење коришћењем OpenMote хардверских платформи у спрези са окружењем реализовним за симулациони режим.

Реализација истраживања ће бити заснована и на одговарајућој програмској подршци. У ту сврху ће бити развијени одговарајући програмски алати за генерисање саобраћаја, како за симулирану тако и за реалну мрежу, статистичку обраду података и тестирање развијеног алгоритма. Програмски алати ће бити развијени у C програмском језику и Python скрипт језику. Алгоритам ће бити имплементиран у C програмском језику у оквиру OpenWSN протокол-стека.

Услови за експериментални рад су одговарајући?

ДА

НЕ

IV.10 Методе обраде података

Верификација развијеног алгоритма ће се вршити генерисањем и слањем саобраћаја кроз мрежу и у симулационом и у реалном окружењу, при чему ће се вршити снимање саобраћаја и других релевантних података. Снимљени резултати ће се обрађивати комерцијално расположивим или намјенски развијеним алатима за статистичку обраду података. Обрадом података добиће се параметри који представљају карактеристике алгоритма и мреже. Анализа резултата ће се вршити помоћу графичке визуелизације или табеларног прегледа параметара који представљају карактеристике алгоритма и мреже, те њиховим поређењем са резултатима доступним у литератури.

Предложене методе су одговарајући?

ДА

НЕ

V ЗАКЉУЧАК

Кандидат је подобан	ДА	НЕ
Тема је подобна	ДА	НЕ

Образложење:

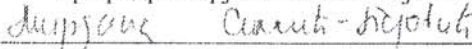
На основу увида у рад кандидата, приложену документацију, биографију и библиографију, Комисија је закључила да кандидат мр Драган Васиљевић испуњава све прописане услове за одобрење теме за израду докторске дисертације, у складу са важећим Законом у Универзитету и на начин предвиђен Статутом Универзитета у Бањој Луци.

Комисија сматра да је предложена тема веома актуелна, да је проблем истраживања отворен за нове приједлоге и побољшања, као и да се на основу до сада остварених научних и истраживачких активности кандидата могу очекивати значајни доприноси и резултати. Такође, Комисија је јединствена у оцјени да су концепт и методологија истраживања адекватни постављеној радној хипотези, као и да ће кандидат дати свој оригинални научни допринос у области истраживања. Кандидат већ има публикован рад у часопису са SCI листе, са импакт фактором.

Узимајући у обзир све наведено, Комисија предлаже Наставно-научном вијећу Електротехничког факултета и Сенату Универзитета у Бањој Луци да прихвати овај Извјештај и да одобри кандидату мр Драгану Васиљевићу израду докторске дисертације под насловом "Алгоритам здруженог формирања комуникационог распореда и рутирања у ЈоТ мрежама заснованим на 6TiSCH протоколу".

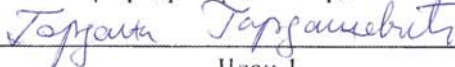
Датум: 30.10.2017. године

Проф. др Мирјана Симић-Пејовић



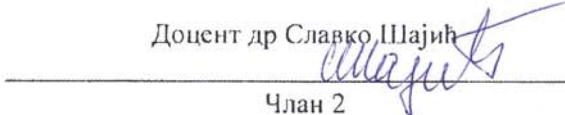
Предсједник комисије

Проф. др Гордана Гардашевић



Члан 1

Доцент др Славко Шајић



Члан 2